

Pengembangan Rear Diffuser City Car sebagai Komponen Modifikasi Berbasis Metode Reverse Engineering yang Didukung Teknologi 3D Scanning dan 3D Printing

Dadi Satrio Wibowo¹, Rahmat Riza^{1*}, Paryana Puspaputra¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding Email: rahmatriza@uii.ac.id

ABSTRAK

Penambahan *rear-diffuser* pada *city car* merupakan salah satu konsep modifikasi yang cukup memberikan karakter khusus. Pengembangan komponen ini agar memberikan nilai tambah lebih masih menjadi tantangan. Pada penelitian ini, proses modifikasi *rear-diffuser* untuk *city car* dilakukan dengan menggunakan pendekatan *reverse engineering* didukung dengan teknologi 3D scanning dan 3D printing. Konsep ini dilakukan dengan melakukan 3D scanning, re-drawing, modification, and prototyping. Proses 3D scanning dilakukan dengan menggunakan alat pemindai 3D scanner yang memiliki spesifikasi volume pemindaian 0,2 m x 0,2 m x 0,2 m hingga 2 m x 2 m x 2 m dengan jangkauan operasi 0,45 m hingga 1,6 m. Proses ini dioptimalkan dengan pewarnaan objek. Objek CAD digambar ulang dan dievaluasi dengan menggunakan kombinasi perangkat lunak CAD dan CAE dan fitur-fiturnya. Hasil yang diperoleh pada studi ini menunjukkan metode *reverse engineering* yang didukung oleh teknologi 3D scanning dan 3D printing bisa menghasilkan bentuk *rear-diffuser* untuk *city car* yang cukup variatif dengan analisis aliran udara tidak mengurangi kinerja kendaraan.

Kata Kunci: 3D printing, 3D scanning, Modifikasi, Reverse engineering

ABSTRACT

The addition of a rear diffuser to a city car is a modification concept that lends it a distinctive character. Developing this component to provide further added value remains a challenge. In this study, the modification process for the rear diffuser of a city car was carried out using a reverse engineering approach supported by 3D scanning, re-drawing, modification, and prototyping. The 3D scanning process was performed using a 3D scanner with a scanning volume ranging from 0,2 m × 0,2 m × 0,2 m to 2 m × 2 m × 2 m and an operational range 0,45 m to 1,6 m. This process was optimized through object colorization. CAD models were re-drawn and evaluated using a combination of CAD and CAE software and their features. The results of this study indicated that reverse engineering methods supported by 3D scanning and 3D printing technologies could result in a variety of rear-diffuser designs for city cars, with airflow analysis showing that these designs do not compromise vehicle performance.

Keyword: 3D printing, 3D scanning, Modification, Reverse engineering

1. Pendahuluan

Penggunaan *rear-diffuser* mobil digunakan di beberapa perusahaan otomotif, terutama di ajang balap sering dimanfaatkan sebagai part penambah aerodinamika sebuah mobil dan pada mobil yang diproduksi massal, banyak digunakan sebagai penambah aksesoris atau untuk kegunaan estetika (Siregar, 2018; Hibatullah & Wailanduw, 2025). Salah satu metode yang dapat membantu membuat sebuah produk baru berdasarkan dengan produk yang sudah ada sebelumnya adalah metode *reverse engineering* (Buonamici et al., 2017). Mobil yang diproduksi massal terutama *City Car* banyak menggunakan *rear-diffuser* sebagai penambah aksesoris (Mongeon, 2016), yaitu untuk

mempercantik tampilan eksterior mobil saja tetapi, *rear-diffuser* ini pun masih merupakan produk massal sehingga belum memberikan karakteristik individu.

Desain *diffuser* sangat mempengaruhi nilai *coefficient of drag* (Cd) karena menentukan seberapa luas bidang yang akan menabrak langsung aliran udara (Chandrupatla & Belegundu, 2002). Pada prinsip dasarnya, semakin besar luas area yang menabrak aliran udara (*frontal area*) akan semakin menghambat aliran udara yang berdampak pada nilai Cd yang semakin besar (Hidayat, 2006). Terdapat tiga faktor yang menentukan nilai Cd. Pertama adalah desain benda, pergerakan udara, dan karakteristik udara. Dalam kaitannya dengan *rear-diffuser* mobil, maka pembahasan dipersempit hanya pada faktor desain benda saja.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan permasalahan yang telah dibahas diatas untuk membuat *rear-diffuser city car*. Dalam pembuatan produk baru terdapat dua jenis metode dasar yaitu *forward engineering* dan *reverse engineering*. Untuk mengembangkan produk yang telah tersedia dipasaran dan digunakan oleh orang banyak, metode *reverse engineering* dapat menjadi metode yang tepat untuk digunakan. Hal ini disebabkan *reverse engineering* sangat membantu dalam hal memperbaiki atau memodifikasi produk yang sudah ada serta menghabiskan waktu yang relatif lebih cepat dalam proses modifikasinya (Raja & Fernandes, 2008). Ada beberapa deskripsi *geometry reverse engineering*, yang semuanya dapat diringkas dalam tiga langkah utama: digitalisasi produk, rekonstruksi bentuk, dan pemodelan *computer aided design* (CAD) *three-dimension* (3D). Proses ini dapat diulang (Anwer & Mathieu, 2016).

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini, pengembangan *rear-diffuser* sebagai komponen modifikasi yang memberikan nilai tambah dilakukan dengan memanfaatkan metode *reverse engineering*. Dengan metode ini, proses perancangan *rear-diffuser* mobil terbagi dalam beberapa tahap. Tahapan tersebut adalah melakukan observasi, 3D *Scanning*, menentukan kriteria desain, *re-design rear-diffuser* mobil menggunakan aplikasi CAD, dan pembuatan purwarupa dengan 3D *printing*.

Tahapan 3D *scanning* dilakukan untuk mendapatkan data numerik yang diubah ke dalam gambar tiga dimensi yang sesuai dengan objek yang dipindai. Hasil dari 3D *scanning* dilakukan sebagai acuan dalam membuat desain baru. Prinsip perangkat 3D *Scanning* serupa dengan kamera pada umumnya yaitu banyak gambar digabungkan untuk membuat bentuk 3D yang virtual. Dalam pembuatan gambar 3D, tiga teknologi utama yang digunakan adalah *photogrammetry*, *stereo vision*, dan *fringe projection* (Haleem & Javaid, 2020).

3D *scanner* merk Sense merupakan salah satu alat *scan* yang banyak dijual dipasaran dengan harga yang terjangkau. Sense dibuat oleh perusahaan manufaktur bernama Cubify. 3D *Scan* Sense 2 ini dapat melakukan scan terhadap objek dan dapat disimpan dengan *format file stereolithography* (.stl) sehingga dapat langsung dilakukan *modelling* terhadap objek yang dipindai. Alat ini memiliki spesifikasi sebagai yang diberikan pada Gambar 1.

Specification	Value
Supported operating systems	Windows 7® (32-bit or 64-bit) Windows 8® (32-bit or 64-bit)
Maximum power consumption	2.25 watts
Scan volume	Min: 0.2m x 0.2m x 0.2m Max: 3m x 3m x 3m
Dimensions	17.8cm x 12.9cm x 3.3cm
Operating range	Min: 0.35m Max: 3m
Field of view	Horizontal: 45° Vertical: 57.5° Diagonal: 69°
Hardware recommendations	
<ul style="list-style-type: none"> • Intel Pentium or equivalent processor • RAM • Screen resolution • Color • Available hard disk space 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 GHz or faster • 2 GB minimum • 1280 x 1024 minimum • 32-bit • 4 GB
Depth image size	240(w) x 320(h) px
Spatial x/y resolution @ 0.5m	0.9mm
Depth resolution @ 0.5m	1mm
Operating temperature	10°C - 40°C
Data interface	USB 2.0
Data format	16-bit
USB cable length	213cm
Maximal image throughput	30 fps
Color image size	240(w) x 320(h) px

Gambar 1. Spesifikasi 3D scanner merk Sense 2
Source: Properti dari perangkat lunak Sense 2



Gambar 2. (a) 3D scanner merk Sense



Gambar 2. (b) Proses 3D Scanning

Pada proses *scanning*, objek atau *diffuser* mobil diletakkan pada atas meja yang berwarna lebih gelap, tujuannya agar mempermudah sensor alat 3D *scan* dalam membidik objek yang akan direkam dan untuk mempermudah operator dalam memutar objek (*rear-diffuser* mobil) selama proses *scanning* berjalan seperti pada Gambar 2. Proses 3D *scanning* dilakukan beberapa kali karena hasil gambar yang didapatkan kurang sempurna. Setelah proses *scanning*, hasil pindai dapat dilihat langsung pada aplikasi yang disediakan dari 3D Systems SENSE 2. Pada aplikasi tersebut juga dapat dilakukan modifikasi ringan seperti *crop*, *trim*, *erase*. Kemudian hasil modifikasi disimpan pada file dalam *format stl*.

Hasil pemindai ini kemudian digunakan sebagai basis untuk menggambar ulang objek penelitian, yaitu *rear-diffuser*. Proses ini dikenal sebagai *shape reconstruction* atau rekonstruksi bentuk yang adalah fase menentukan permukaan yang mendekati bentuk yang tidak diketahui dari objek yang digunakan. Hal ini dapat terjadi karena banyak permukaan yang mendekati bagian asli objek yang diambil. Selain itu, *set point* dapat dikarakterkan dengan kepadatan variabel serta kebisingan karena proses akuisisi. Tantangan utamanya adalah untuk menjamin bahwa topologi

permukaan asli tetap dipertahankan, akan tetapi fitur tajam dan batas permukaan direproduksi secara akurat pada permukaan objek yang direkonstruksi (Anwer & Mathieu, 2016).

Pada penelitian ini, proses rekonstruksi ini mempertimbangkan kriteria desain untuk memiliki fungsionalitas dan estetika yang sesuai dengan keinginan market, yaitu desain yang secara visual enak dilihat, Kriteria desain yang ditentukan berdasarkan fungsi tersebut adalah: 1. Memberikan karakter/individu untuk produk massal, 2. Tidak mengurangi fungsi utama dan kegunaan dari produk, dan 3. Mempertahankan performa/fungsi dari produk.

Dalam penelitian ini *redrawing* dilakukan menggunakan alat bantu perangkat lunak CAD (Verma & Samar, 2018). Hasil *scan* yang berupa *file .stl* atau *.obj* digunakan sebagai acuan dalam pembuatan desain baru. Fase ini merupakan langkah terakhir untuk membuat model produk padat menggunakan Boundary Representation (B-Rep) atau fitur yang berdasarkan 14 parametrik untuk menambahkan tambahan desain melalui fitur geometrik, parameter dan batasan (Anwer & Mathieu, 2016).

Hasil dari proses *re-drawing* dievaluasi dengan dua jenis analisis, yaitu analisis zebra dan analisis *air flow simulation*. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa kriteria desain bisa tercapai. Analisis zebra bertujuan untuk mengetahui tingkat kerataan permukaan dari produk yang telah dirancang. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi CAD yang mendukung. Pembacaan hasil analisis Zebra dengan melihat garis-garis hitam putih (zebra). Apabila garis-garis menunjukkan garis yang sejajar dan tidak saling patah pada satu permukaan yang sama maka hasilnya dapat dikatakan sudah rata, tetapi apabila terdapat garis yang membentuk lingkaran maka hasil tersebut dapat diketahui tidak rata / berlubang, atau garis zebra yang saling patah maka dapat dikatakan permukaan tersebut tidak rata.

Analisis *air flow simulation* dari produk hasil *modelling* dari produk tersebut dilakukan dengan berbantuan perangkat lunak *computer aided engineering* (CAE), dengan tujuan mengetahui apakah produk *modelling* mampu melewati aliran angin dengan baik (Um, 2016). kondisi riil produk memberikan aliran udara sesuai dengan asumsi kecepatan yang telah ditentukan dan melihat hasil dengan mensimulasikan analisis yang dijalankan pada software tersebut. Hasil yang telah dibaca dapat dibandingkan antara hasil produk asli dengan produk modifikasi.

Di Bagian akhir studi ini dengan membuat produk 3D dari komponen *rear-diffuser* untuk *city-car* ini. Hal ini bisa langsung dilakukan dengan menggunakan teknologi 3D *printer*. Teknologi ini memungkinkan untuk membuat *file* digital menjadi benda 3D. Mesin ini memiliki konsep mencetak lapisan per lapisan sampai terbentuk benda 3D-nya. Pada penelitian ini, spesifikasi mesin 3D *print* yang digunakan dalam pembuatan model produk seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi 3D *printer* Creality R10-S5 dan Creality Ender 6

Tipe Mesin	3D Print Creality R10-S5	3D Print Creality Ender 6
Overall Dimensions Print Size: Height, Width, Length	500 mm, 500 mm, 500mm	250 mm, 250 mm, 400mm
Total Weight	22.8 kg	22 kg
Printing Material	PLA 1,75 mm	PLA 1,75 mm
Layer Thickness	0,2-0,4 mm	0,1-0,4 mm
Control System	WIN, XP, MAC, VISTA, LINUX	MAC, LINUX, WIN 7/8/10
Nozzle Diameter	0,4 mm	0,4 mm
Nozzle Number	Single Nozzle	Single Nozzle

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan-tahapan pada proses *reverse engineering* yang terdiri dari proses identifikasi bentuk dan dimensi awal, modifikasi, dan evaluasi produk. Tahapan ini dijelaskan pada bagian berikut.

3.1. Identifikasi bentuk dan dimensi awal

Proses ini dilakukan dengan mengobservasi produk yang telah ada di pasar komponen modifikasi. Dalam observasi produk dapat diketahui dimensi dari produk yang dipilih yaitu p x l x t

(580 x 140 x 85) mm, material asli dari produk yaitu ABS Plastik, warna produk hitam. Dengan menggunakan produk yang telah ada ini maka dilakukan proses identifikasi bentuk dan dimensi awal dengan menggunakan alat 3D scanning dan aplikasi *computer aided drawing* (CAD). Diketahui sesuai spesifikasi dari alat scanning pengaruh warna terhadap hasil *scan* sangat berpengaruh terhadap hasil akhir, karena alat kurang mampu untuk melakukan *scan* warna-warna gelap sehingga dilakukan perbaikan terhadap warna dari produk yang semula hitam dilakukan perubahan menjadi putih dengan proses pengecatan agar dapat dilakukan *scan* dengan baik. Hasil produk setelah di cat adalah berwarna putih mutiara menggunakan pilox yang mudah ditemukan di toko-toko cat terdekat.

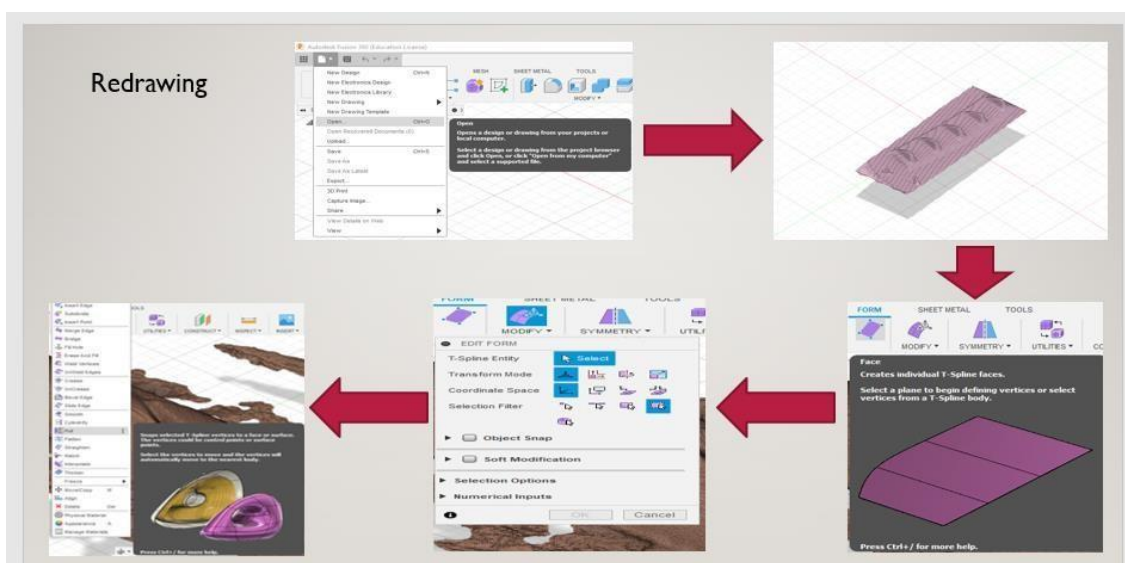
Proses *scanning* produk dilakukan dengan menggunakan alat 3D scan dengan brand 3D Scan Sense. Scan dilakukan pada jarak 400 mm – 2000 mm, pengaruh warna terhadap hasil *scan* yaitu apabila dilakukan proses scan untuk warna terang akan mudah terscan sebaliknya apabila warna gelap akan sulit untuk di-*scan*, dan juga pengaruh intensitas cahaya pada proses *scanning*, proses scanning harus dilakukan pada ruangan yang memiliki intensitas cahaya yang cukup seperti Gambar 3 dibawah ini menunjukkan proses *scan* produk.



Gambar 3. Hasil scan 3D scanner Sense 2

Gambar 3 menunjukkan hasil *scanning* pada komponen *rear-diffuser* mobil, yang mana setelah melakukan proses tersebut kemudian *file* kita ubah ke stl guna melakukan pendesainan ulang di perangkat lunak CAD. Komponen original akan dimodifikasi sesuai dengan kriteria desain yang sudah dirancang.

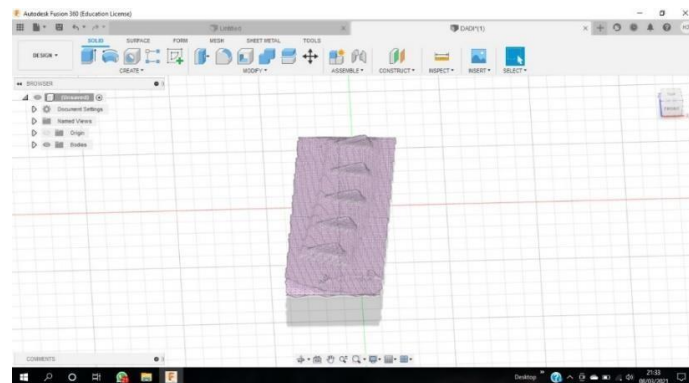
Pada tahap ini dilakukan proses *modelling* dimana hasil 3D *scan* yang sudah kita lakukan dimasukkan ke dalam perangkat lunak CAD. Pengerjaan ini di mulai dengan memasukkan *file* hasil *scan* format stl dengan cara *import file*, setelah itu selanjutnya melakukan proses *Reverse engineering* menggunakan *tools* bernama *form*, dari *tools* tersebut akan menghasilkan *surface*, dan lakukan cara itu hingga mengikuti *surface* dari hasil *scan* benda objek yang digunakan.



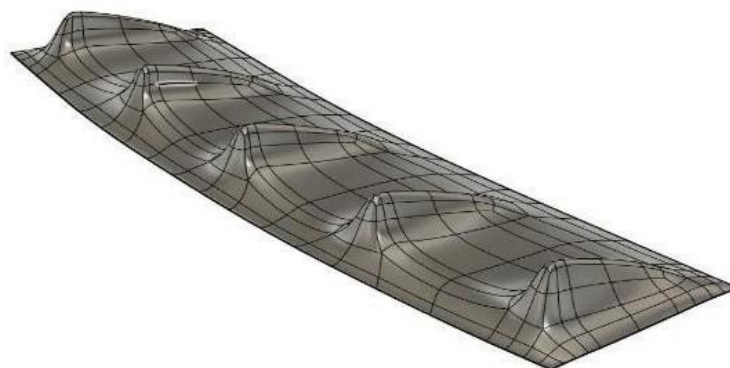
Gambar 4. Proses re-drawing

Proses berikutnya adalah melakukan proses *re-drawing*. Proses ini dilakukan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4. Proses *re-drawing* ini dilakukan dengan menggunakan gambar hasil pemodelan pada tahapan sebelumnya. Gambar tersebut digunakan sebagai rujukan untuk melakukan penggambaran ulang objek. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, proses penggambaran ulang menggunakan fitur *smart surface* dimana model dibuat ulang dengan mengikuti hasil 3D Scan. Pada *re-drawing* terdapat langkah yang harus diperhatikan pada proses pull atau “penarikan” *surface* baru untuk mengikuti pola hasil dari 3D scan. Kendala yang terjadi selama proses *surface pulling* adalah *surface* yang sangat sensitif terhadap sumbu x, y, dan z. oleh sebab itu, proses *surface pulling* harus tegak lurus atau sesuai dengan arah *surface* itu sendiri, apabila hal ini tidak diperhatikan *surface* baru yang dihasilkan akan bergelombang.

Tahapan pertama yaitu mengubah ukuran hasil scan menjadi seperti yang diinginkan dengan menggunakan *toolpath scale* yang terdapat pada *Workspace MODEL*. Seperti Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Proses *scale*



Gambar 6. *Diffuser* original hasil dari proses *re-drawing*

Gambar 6. menunjukkan hasil *re-drawing* komponen original dari produk dengan melakukan pendesainan ulang di perangkat lunak CAD. Fitur *Workspace SCULPT* digunakan untuk membuat model baru yang berdasarkan pada desain hasil *scanning*. Pada langkah ini dapat membuat desain baru yang dapat dimodifikasi tetapi tetap berpatokan pada hasil *scanning*, *toolpath* yang digunakan adalah *faces*.

3.2. Modifikasi dan pengembangan awal desain produk

Konsep desain yang dirancang adalah pendesainan ulang produk *diffuser* belakang *city car* kemudian setelah dilakukan pendesainan ulang dilakukan modifikasi terhadap desain asli. Desain original ini menganut pada part original yang beredar di pasar.

Ada dua konsep desain yang digunakan pada proses modifikasi yang dilakukan pada studi ini, yaitu konsep *sporty design* dan *luxury design*.

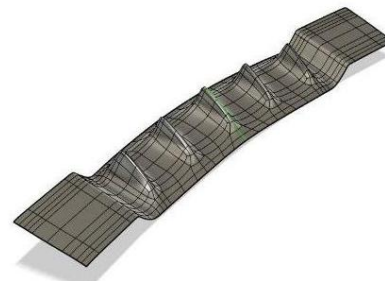
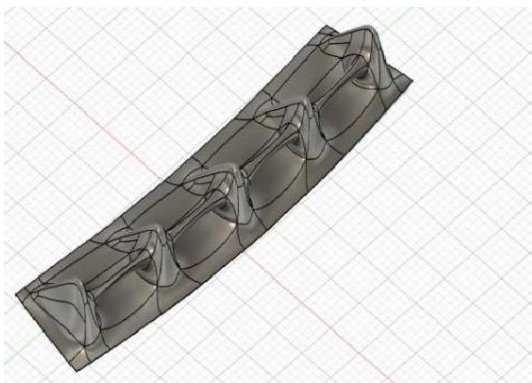
Sporty design bisa dikatakan cukup banyak disukai kalangan pecinta otomotif, bilah dan lekukan tajam *diffuser* pada desain mobil harian pun kerap mengadopsi agar penampilan kian *sporty*. Tujuan *diffuser* dirancang lebih kepada keindahan desain estetika, artinya hanya untuk menambah

aksesoris sebuah mobil. Namun, karena komponen ini semakin diminati oleh para pengendara mobil penumpang banyak produsen yang membuatnya sehingga cukup banyak part diffuser yang beredar di pasar saat ini. Tak sekedar bentuk, hal paling penting yang perlu diperhatikan dalam mendesain sebuah diffuser mobil belakang adalah aerodinamika. Nilai *coefficient of drag* (Cd) menjadi hal yang sangat diperhatikan dalam mendesain sebuah *diffuser* mobil belakang. Secara singkat *coefficient of drag* adalah nilai hambatan sebuah benda dalam membelah aliran udara. Jadi semakin kecil angka *coefficient of drag* sebuah benda, semakin mudah pula benda itu untuk membelah aliran udara atau dapat juga diartikan semakin kecil nilai Cd sebuah benda, semakin aerodinamis pula benda tersebut.

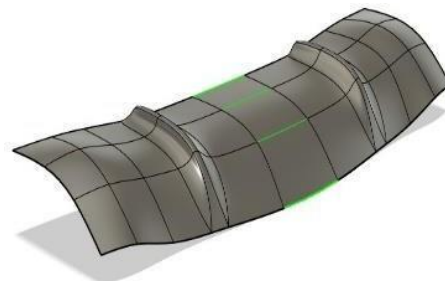
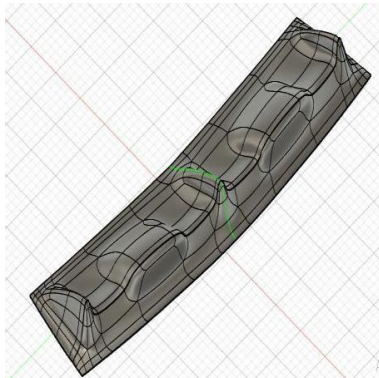
Luxury design bukan sekedar penggunaan barang-barang yang mahal atau mencolok pada bagian part kendaraan. Konsep utama yang ditonjolkan dari desain mewah ini adalah perpaduan yang menyeluruh dari setiap aspek yang ingin ditampilkan. Desain merupakan sesuatu yang berkenaan dengan selera atau preferensi, Desain juga dapat terinspirasi dengan gaya klasik, *ultra-modern* atau bahkan minimalis kontemporer yang masing-masingnya memiliki karakteristik tersendiri pula. Oleh karena itu, detail aksesoris yang menonjolkan konsep desain tersebut sangat penting untuk diperhatikan. Desain *luxury* lebih mengarah kepada konsep dewasa atau biasa disebut konsep *mature* dimana sirip terlihat lebih bulat dengan lekukan yang cukup santai. Beberapa contoh pabrikan otomotif yang menerapkan konsep *sporty* dan *luxury* antara lain : Toyota dengan TRD-S dan GR-SPORT kemudian ada dari Honda dengan line up tipe RS dan TYPE-R serta dari produsen Eropa pun turut andil dalam hal ini seperti BMW dengan model *luxury line* dan *Msport*.

Setelah didapatkan konsep kemudian dilakukan proses perancangan, proses perancangan dilakukan dengan mengimpor hasil *scanning* berupa file stl ke dalam aplikasi CAD, hasil pemodelan dari hasil *scanning* tersebut berupa *modelling* 3D produk asli dan dilanjutkan ke proses modifikasi dari produk. Desain modifikasi yang dilakukan memberikan sebuah karakter individual secara keseluruhan sehingga tampilan produk berbeda dari yang lain.

Hasil modifikasi konsep *sporty design* dan *luxury design* diberikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Modifikasi sporty



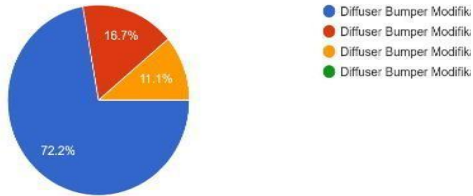
Gambar 8. Modifikasi Luxury

3.3. Pemilihan desain dan evaluasi desain produk

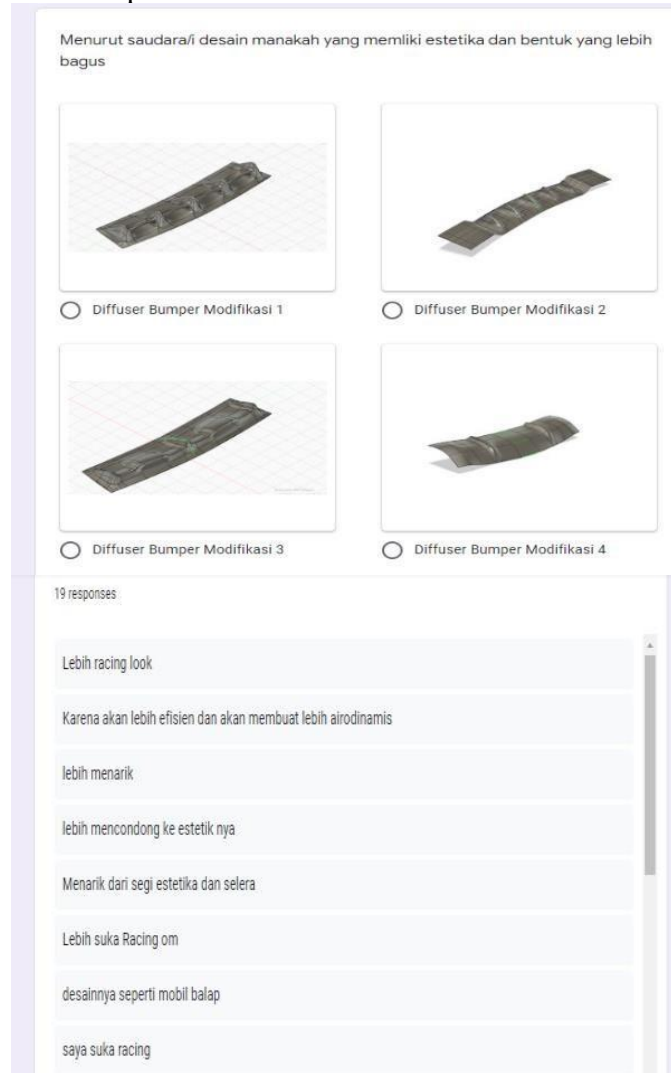
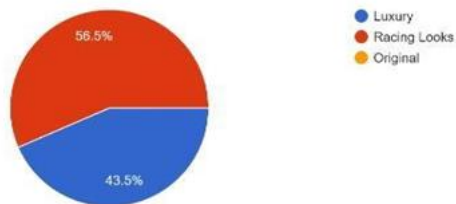
Pemilihan modifikasi dilakukan dengan berdasarkan hasil pengambilan pendapat dari anggota komunitas yang menggunakan komponen modifikasi pada kendaraan mereka. Pemilihan peserta

survei dilakukan secara acak. Dari hasil survei yang telah dilakukan pemilihan *diffuser city car* modifikasi tersebut dirasa cukup sebagai pemilihan konsep desain berdasarkan survei.

Menurut saudara/i desain manakah yang memiliki estetika dan bentuk yang lebih b. 18 responses



Arah modifikasi yang disukai 23 responses



Gambar 9. Hasil survey terhadap modifikasi dengan konsep modifikasi *sporty* dan *luxury*

Konsep yang dipilih mengacu kepada tingkat minat responden yang mengarah ke desain yang *sporty* dan *luxury*, untuk konsep *sporty* memiliki lebih banyak lekukan dan sirip yang saling berkesinambungan. Disisi lain desain *luxury* lebih mengarah kepada konsep dewasa atau biasa disebut konsep mature dimana sirip terlihat lebih bulat dengan lekukan yang cukup santai.

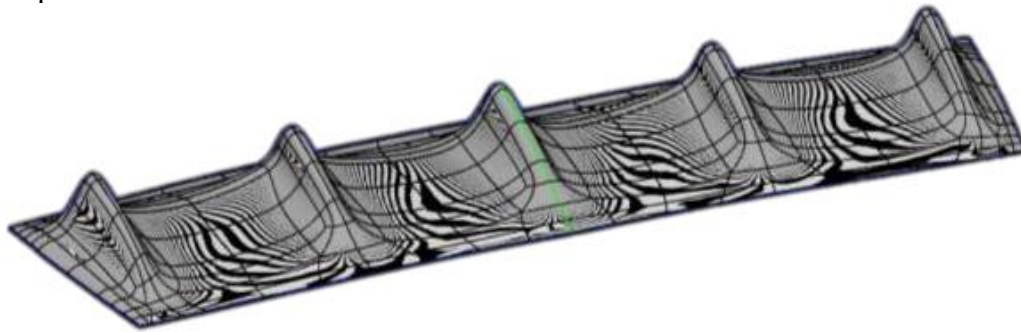
Hasil survey yang diperoleh seperti yang ditampilkan pada Gambar 9 menunjukkan desain dengan konsep desain *sporty* dipilih sedikit lebih banyak dari pada hasil desain *luxury*. Dengan pertimbangan ini, konsep desain *sporty* dipilih untuk pengembangan modifikasi *rear-diffuser* pada penelitian ini.

3.4. Analisis dan pengembangan lanjut desain produk

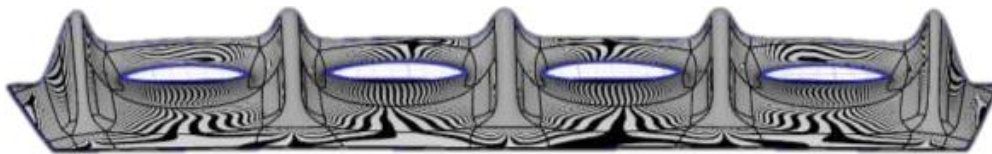
The first line of each paragraph should be indented by 1.27 cm to indicate the beginning of a new paragraph. This has already been configured in this document and should not be changed. Please insert a blank line to separate

Pengembangan modifikasi pada penelitian ini dilanjutkan dengan melakukan analisis zebra terhadap model 3D desain modifikasi. Hasil analisis zebra tersebut dibandingkan dengan hasil analisis zebra dari model 3D desain original diffuser. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi CAD yang menyediakan fitur analisis zebra. Fitur ini biasanya terdapat pada menu menu *inspect*. Analisis zebra dari kedua model 3D dilakukan untuk mengevaluasi kerataan setiap surface yang dibuat pada tahapan *re-drawing* dan modifikasi sebelumnya. Berikut ini adalah hasil dari analisis

zebra dari model 3D diffuser original dan modifikasi dengan konsep desain *sporty* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Analisis Zebra Diffuser Original

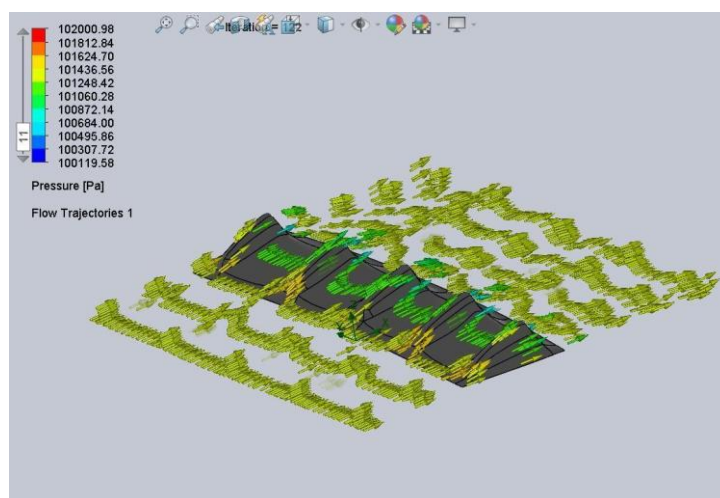


Gambar 11. Analisis Zebra Diffuser modifikasi

Pada Gambar 10 tampak depan hasil analisis zebra pada *diffuser* asli menunjukkan garis-garis zebra yang berbeda dengan produk modifikasi, perbedaannya pada bentuk dan *surface* yang berbeda, sedangkan pada gambar 11 tampak depan produk modifikasi *surface* bagian atasnya terdapat penambahan desain, garis-garis menunjukkan garis yang sejajar dan tidak saling patah pada satu permukaan yang sama maka hasilnya dapat dikatakan sudah rata.

Pengembangan berikutnya adalah memastikan bahwa produk modifikasi ini memiliki nilai tambah selain memberi karakter spesifik dari kendaraan pengguna komponen ini. Salah satu nilai tambah yang bisa dipertimbangkan pada komponen modifikasi *rear-diffuser* ini adalah komponen ini diharapkan mampu memberi perbaikan pada pola aliran.

Analisis pola aliran pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak CAE. Hasil pemodelan pola aliran dari perangkat lunak CAE untuk model 3D komponen *rear-diffuser* modifikasi dibandingkan dengan komponen original. Simulasi pola aliran dilakukan untuk mendeskripsikan komponen berada pada kondisi kecepatan 120 km/jam. Hasil pemodelan dari *air flow simulation*: untuk komponen *rear-diffuser* original dan modifikasi diberikan pada Gambar 12 dan Gambar 13.

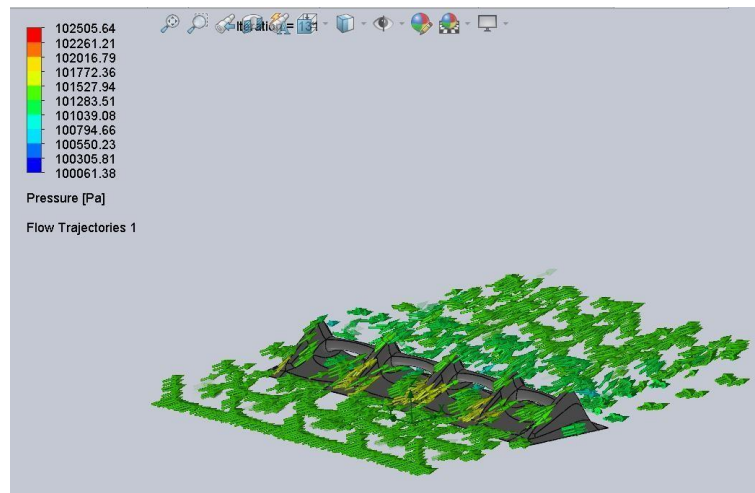


Gambar 12. Analisis Zebra Diffuser Original

Gambar 12 menunjukkan pada bagian depan *diffuser* terdapat arah aliran yang *streamline* atau pun bentuk yang aerodinamis dari komponen dan tidak ada menunjukkan putaran arus balik atau separasi pada bagian tersebut di kecepatan 120 km/jam. Hasil pemodelan pola aliran pada komponen

original sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 12 mendeskripsikan adanya penurunan tekanan udara yang melewati model komponen. Dimana pada diluar komponen *diffuser* tekanan udara bisa mencapai 101,62 kPa turun menjadi 100,87 kPa pada area komponen. Dengan kondisi ini, beda tekanan masuk dan selama di komponen cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa Cd yang cukup besar (Sharma, 2017). Hal ini membuktikan bahwa komponen *diffuser* original ini perlu dikembangkan untuk memberikan nilai tambah sebagaimana pertimbangan pada penelitian ini.

Kekurangan desain original ini coba dikembangkan dengan memperbanyak bilah-bilah yang berguna untuk memecah aliran udara yang menabrak terhadap komponen original.



Gambar 13. Analisis zebra *diffuser* modifikasi

Gambar 13 menunjukkan bentuk dari kontur kecepatan 120 km/jam pada bidang plane *diffuser* hasil modifikasi. Dari hasil simulasi yang di dapat menunjukkan warna dari kontur kecepatan *diffuser* desain komponen modifikasi, terlihat bahwa pola aliran yang dilakukan tidak mengalami perubahan warna yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan tekanan secara signifikan selama udara melalui komponen modifikasi sebagaimana pada pemodelan pola aliran komponen original. Terlihat pada Gambar 13, tekanan udara keseluruhan mencapai 101,53 kPa dan mencapai 101,772 kPa pada beberapa area di komponen *diffuser*.

Perbedaan dari kedua hasil pemodelan pola aliran ini merujuk pada seberapa luas bidang yang akan menabrak langsung aliran udara. Pada prinsip dasarnya, semakin besar luas area yang menabrak aliran udara (*frontal area*) akan semakin menghambat aliran udara yang berdampak pada nilai Cd yang semakin besar (Massoud, 2005). Hasil ini menunjukkan bahwa pengembangan modifikasi komponen *rear-diffuser* untuk *city-car* menunjukkan peningkatan kinerja komponen untuk memberikan nilai tambah pada kendaraan.

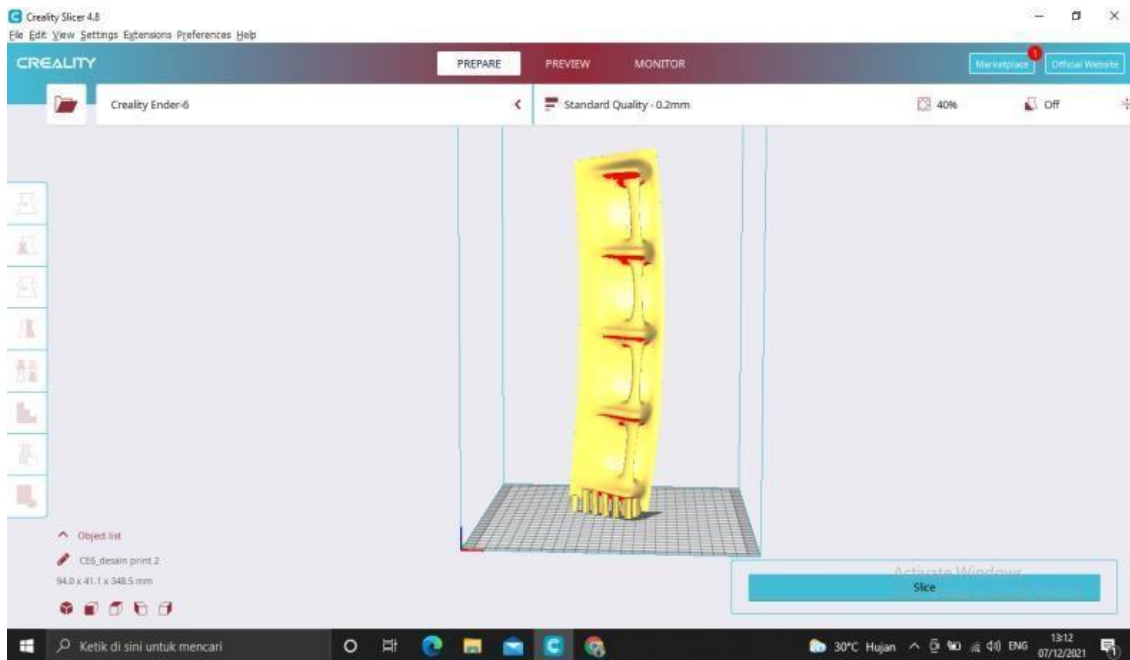
3.5. Pembuatan purwarupa produk

Langkah terakhir pada proses pengembangan modifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan membuat bentuk solid 3D dari komponen modifikasi. Ojek solid 3D ini sangat penting dilakukan untuk mengaktualisasikan desain yang telah dibuat dengan metode *reverse engineering*, dan juga untuk mengetahui tingkat kesesuaian produk yang dirancang. Hal ini bisa dilakukan lebih sederhana dengan memanfaatkan teknologi 3D *printing*. Teknologi ini bisa langsung membuat produk 3D langsung dari gambar 3D tanpa harus membuat molding terlebih dahulu.

Pembuatan produk dengan 3D *printing* dilakukan dengan dua pendekatan, yang pertama menggunakan skala 1:2 dan kedua dengan skala 1:1 terhadap produk asli, hal tersebut dipertimbangkan karena ukuran komponen *rear-diffuser* pada studi ini melebihi ukuran bed 3D *printing*. Lebih lanjut, proses pencetakan 3D memakan waktu yang cukup lama. Hal ini ditambah lagi dengan adanya tahapan yang harus dipersiapkan sebelum cetak seperti pengaturan mesin yang sangat mempengaruhi hasil pencetakan. Proses pengaturan ini terkendala karena proses pengaturan harus sesuai mulai dari pengaturan kecepatan *nozzle*, temperature *nozzle*, temperature *bed*, support type hingga kalibrasi pada mesin 3D *printer* harus sesuai agar hasil pencetakan yang didapat juga sesuai

dengan konsep desain dan kualitas pencetakannya presisi serta dapat mempersingkat waktu. Kendala tersebut dapat diselesaikan dengan menerapkan percobaan beberapa kali. Percobaan tersebut berupa mengubah kecepatan *nozzle*, memperbesar layer dan memilih bentuk dan kerapatan *infill* yang sesuai dengan bentuk yang akan dicetak.

Penggunaan material PLA sebagai bahan untuk pembuatan 3D *printer* dilakukan dengan mesin Creality Ender 6 di Lab prodi Teknik Mesin UII. Tampilan objek difusser siap cetak pada 3D printer ini diberikan pada Gambar 14. Proses ini memakan waktu 8-14 jam, cukup untuk melakukan eksekusi pemodelan *diffuser city car* 1:2. Memasuki proses cetak, mesin 3D *printing* banyak mengalami kegagalan yang mengakibatkan proses cetak harus diulang terus menerus. *Nozzle* pada mesin 3D *printer* seringkali tidak menempel pada *bed* sehingga proses cetak terhenti sebelum seluruh bagian tercetak.



Gambar 14. Tampilan komponen siap cetak Mesin Creality Ender 6



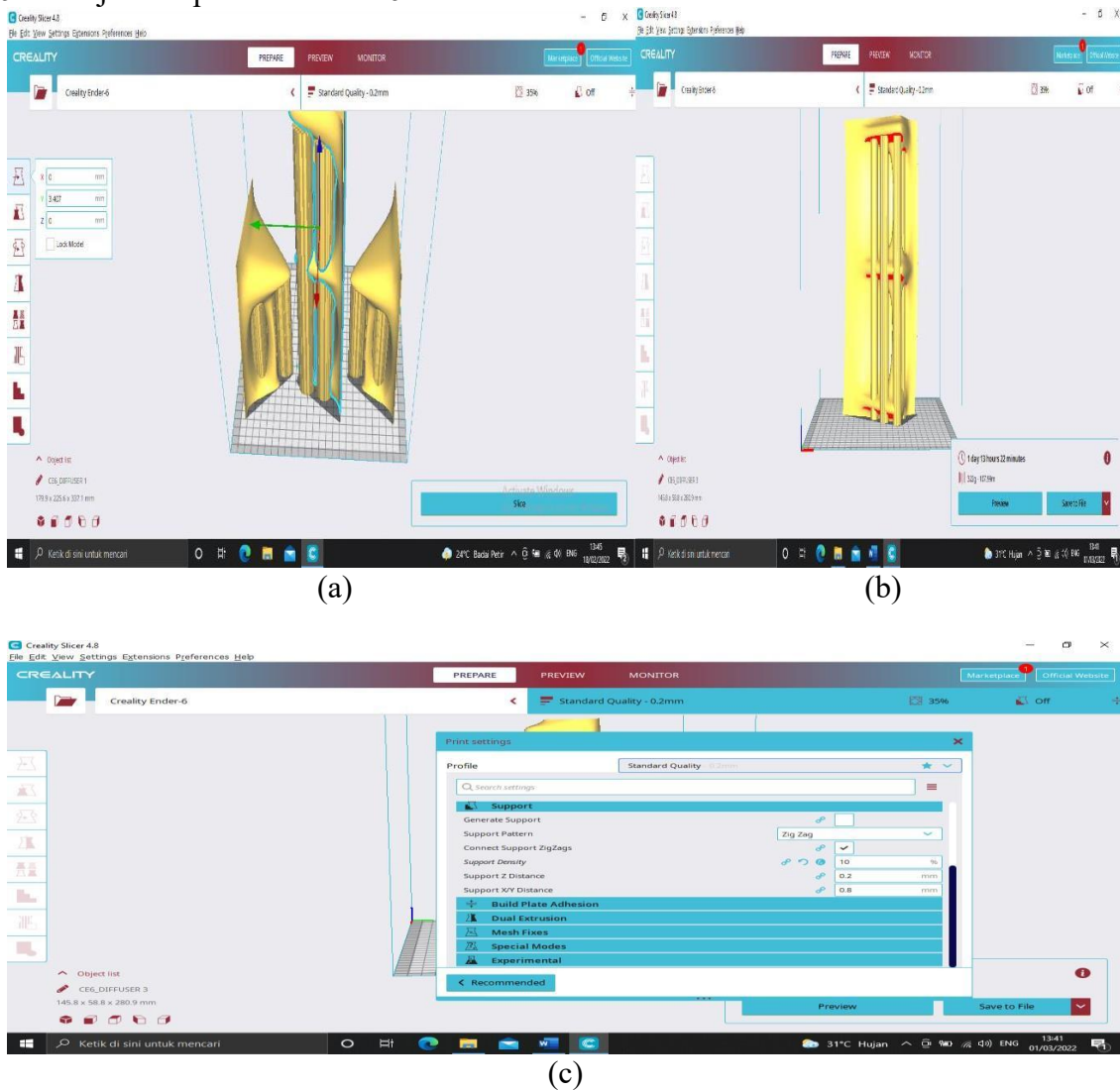
Gambar 15. Hasil 3D Print 1:2

Hasil 3D *printing* pada Gambar 15 adalah bentuk dari hasil 3D *printing* dengan skala 1:2, struktur dari *diffuser* itu sendiri memiliki permukaan dan sudut-sudut yang halus dan tidak kasar sehingga ketika disentuh atau diraba tidak akan melukai tangan. Desain seperti jembatan yang melewati sirip satu persatu menambah kesan *sporty* dalam satu kesatuan.

Diffuser hasil pencetakan dengan mesin 3D *printer* yang memanfaatkan metode *reverse engineering* perlu dilakukan proses penyelesaian akhir. Proses ini berupa pengikiran agar bagian sisa

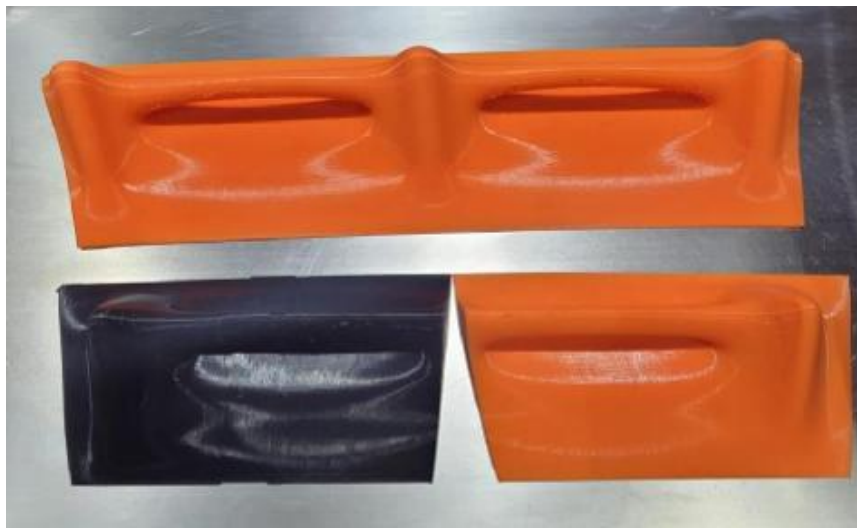
dari area yang terkena support dapat terbentuk sesuai detail yang dirancang, contohnya pada bagian lekukan dan sudut-sudut pada bagian *diffuser* dikikir agar bentuk lekukan.

Pemodelan komponen *rear diffuser* dengan rasio 1:1 terhadap ukuran sebenarnya membuat objek 3D yang akan dibuat melebihi ukuran bed 3D *printing*. Permasalahan ini diselesaikan dengan cara melakukan pencetakan objek solid 3D dengan segmentasi. Pada proses segmentasi komponen *diffuser* dibagi menjadi 3 bagian yaitu sisi kiri, bagian tengah dan sisi kanan, dengan pembagian sisi kiri 15 cm rata dengan sisi kanan 15 cm serta bagian tengah dengan ukuran 28 cm. setelah melakukan segmentasi serta proses pencetakan di mesin Creality Ender 6 telah menghasilkan 3 part yang akan digabungkan menjadi satu komponen *diffuser*. Total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan part *diffuser* segmentasi yaitu 4 hari 12 jam. pengaturan pra pencetakan dan optimasi support pada *diffuser* ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Optimasi *Support*: (a) Tampak depan *support* yang digunakan; (b) Tampak samping *support* yang digunakan; (c) pengaturan *support* pada aplikasi slicer.

Dengan pertimbangan ukuran komponen setelah di segmentasi, proses pencetakan komponen dengan rasio 1:1 dilakukan dengan posisi vertikal. Hal ini juga bertujuan untuk mengoptimasi penggunaan *support* yang juga menggunakan filament dan menambah waktu pencetakan. Bentuk akhir dari *diffuser city car* 1:1 di mesin Creality Ender 6 ditunjukkan pada Gambar 17.



(a)

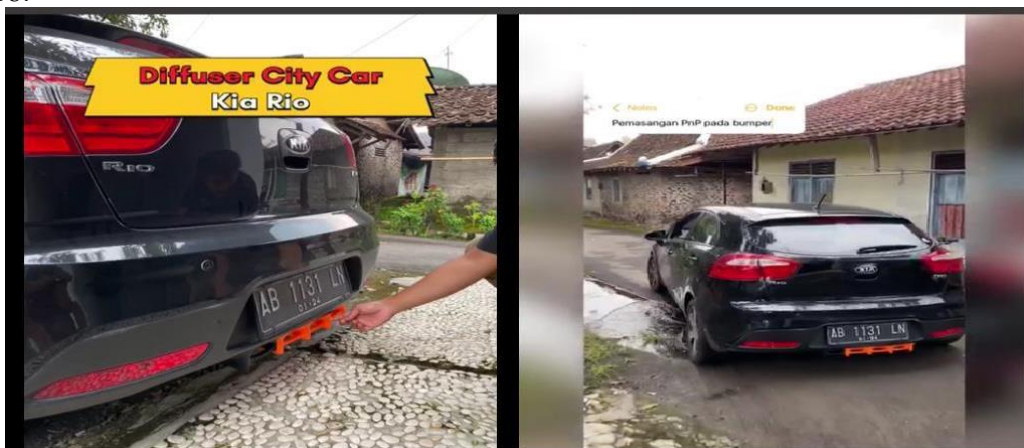


(b)

Gambar 17. Hasil pencetakan komponen modifikasi *rear-diffuser* dengan rasio 1:1 terhadap ukuran sebenarnya; (a) Hasil cetak yang belum digabungkan; (b) Hasil penggabungan tiga segmentasi.

Hasil pencetakan dengan tiga bagian dari komponen modifikasi kemudian diberikan tahapan penyelesaian. Hal ini digunakan untuk memperbaiki proses pencetakan yang kurang sempurna dan untuk menyesuaikan sambungan untuk proses *assembly*. Proses *assembly* pada komponen yang tersegmentasi memanfaatkan lem untuk menyatukannya.

Tahapan terakhir dari semua proses perancangan dan pemodelan diffuser adalah pemasangan hasil diffuser 3D Print yang di aplikasikan kendaraan jenis *city-car* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Pemasangan komponen modifikasi *rear-diffuser* pada *city-car*.

4. Kesimpulan

Pada studi ini terlihat bahwa pengembangan komponen modifikasi *rear-diffuser city-car* bisa menghasilkan komponen yang bisa langsung digunakan. Proses modifikasi yang dilakukan bisa membuat tampilan komponen modifikasi lebih spesifik. Zebra analisis yang dilakukan menunjukkan proses pengembangan modifikasi tidak mengurangi kerataan kurva pada komponen modifikasi dibandingkan hasil *re-drawing* produk aslinya. Analisis pola aliran menunjukkan pengembangan yang dilakukan mampu memberikan nilai tambah untuk komponen modifikasi dibandingkan dengan komponen original.

Ucapan Terima Kasih

Makalah ini dibiayai oleh penelitian Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Universitas Islam Indonesia.

Daftar Pustaka

- Anwer, N., & Mathieu, L. (2016). From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(1), 165–168.
- Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Governi, L., Lapini, A., & Volpe, Y. (2017). Reverse engineering of mechanical parts: A template-based approach. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(2), 1–15.
- Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A. D. (2002). *Introduction to finite elements in engineering* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Haleem, A., & Javaid, M. (2020). 3D printed medical parts with different materials using additive manufacturing. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8, 215–233.
- Hibatullah, H. L., & Wailanduw, A. G. (2025). Analisa aerodinamika pada kendaraan GARED IV dengan variasi sudut rear diffuser menggunakan metode computational fluid dynamics. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 14(1), 81–88.
- Hidayat, Y. H. (2006). *Analisa tekanan dan laju kecepatan angin pada mobil GL-BUS menggunakan software berbasis computational fluid dynamics (CFD)* [Laporan kerja praktik]. Universitas Gunadarma.
- Massoud, M. (2005). *Engineering thermofluids: Thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer*. Springer.
- Mongeon, B. (2016). *3D technology in fine art and craft*. Focal Press.
- Raja, V., & Fernandes, K. J. (2008). *Reverse engineering: An industrial perspective*. Springer.
- Sharma, A. (2017). *Computational fluid dynamics: Development, application and analysis*. John Wiley & Sons.
- Siregar, I. (2018). Studi eksperimen tentang pengaruh ground clearance dengan menggunakan 4-diffuser channels pada bagian belakang bodi bus. *Jurnal LPPM UGN*, 9(1D).
- Um, D. (2016). *Solid modeling and applications: Rapid prototyping, CAD and CAE theory*. Springer.
- Verma, G., & Samar. (2018). *Autodesk Fusion 360* (2nd ed.). CAD/CAM/CAE Works.